當今農業對輪作制度應有的認識

輪作制度與永續性農業的關係

＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊＊◎農試所農化組　譚增偉　王鐘和

一、 輪作制度對作物產量的影響

農作的經驗告訴我們，連作產量低輪作產量高，故世人多重輪作，農作悠久之國家多實行輪作制度。原則上在同塊土地上種植相同作物之時間相距愈長，其產量愈佳。台灣之甘蔗、水稻亦如此，多年未種甘蔗之地，乍種甘蔗，產量特高，稱曰「生地種蔗」；本省幾十年前，石門水庫開放，其下游之多數地區尤其是紅壤，多闢為水田，初時產量低，是土壤的因素，使得養分有效度降低，非生地使然，其後養分的問題解決即獲高產。在台灣新的沖積土為河邊沖積土，產蔗量或香蕉、水稻等產量亦佳。新改良之鹽分地在台灣或荷蘭均有優異之產量，有識之人均知此，但常知其然不知其所以然。反之，連作則易誘致產量之低產，此又有視於各種農作物之自耐性，水稻之自耐性極強，可連作百餘年而未聞有減產者，本省之水田，種植年代較早者已有三百多年歷史，亦未聞減產，反在品種改良及施肥管理之改進下可達高產量。香蕉之自耐性亦強。小麥、大麥、燕麥等作物在歐洲大陸連作數次即行減產，其原因之一係為病害。茄科作物如蕃茄、茄子等連作一次即生病害，影響收穫。

有關輪作與產量關係的試驗，美國密蘇里州立大學於1888年即設有長期試驗田，其有以 6 年為一週期在玉米－燕麥－小麥－苜蓿－牧草(timothy)－牧草(timothy)的輪作順序系統，亦有以 3 年為一週期在玉米－小麥苜蓿的輪作系統，經過30年後，以 6 年為週期的輪作，其中玉米、燕麥、小麥的產量比連作者各增產60.4%,3%,和32%；以 3 年為一週期的輪作，其中玉米和小麥各增產30.8%和40.8%。另在俄亥俄州亦有類似的結果，惟此時是用化學肥料以取代前者所用之堆肥，所得結果，在輪作下，玉米、燕麥及小麥的產量較連作各增加29.9,30.8和

作者：譚助理研究員增偉
聯絡電話：04-23302301-408

42.5%。美國東部的Delaware，在不施肥的情況下，輪作區玉米的產量甚至可增產156.9%，而在施N.P.K肥的情況下，玉米產量比連作區仍可增產24.4%。表一是在愛荷華州東北部地區15年的研究結果，明顯的反應出輪作區與連作區產量的差異。

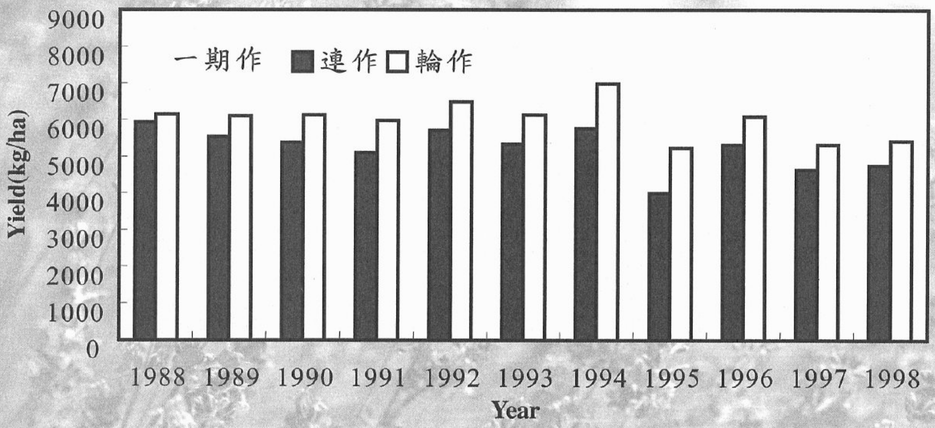
表一、愛荷州東北部地區輪作對玉米產量的影響(Karlen等，1991)(Kg ha^{-1})

年份	連作	輪作
1978	8.0	9.4
1979	9.5	10.2
1980	9.5	9.7
1981	9.9	10.4
1982	7.5	7.7
1983	5.3	6.8
1984	5.5	7.3
1985	7.6	8.8
1986	10.2	10.8
1987	8.1	9.0
1988	5.0	6.3
1989	6.6	8.0
1990	10.6	11.2
1991	8.3	9.4
1992	9.1	10.0
平均	8.0	9.0

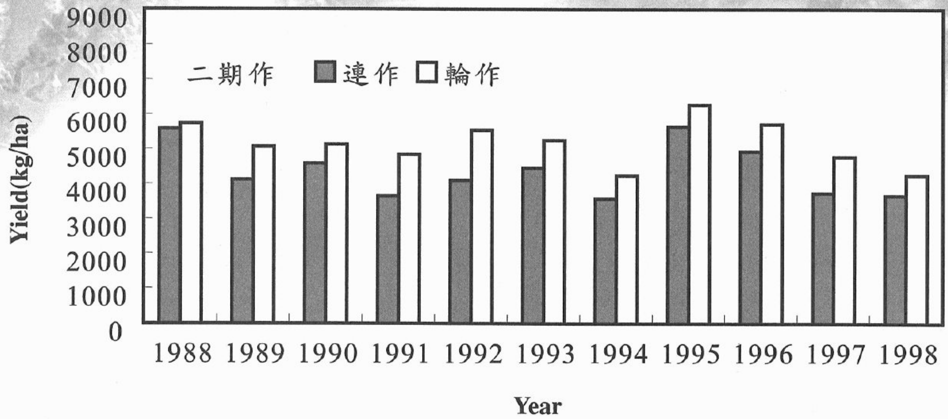
水稻之自耐性極強，可連作而不致減產，但如在與旱作輪作的情形下，亦發現輪作區的產量不論一、二期作均較連作區爲高，圖一、二爲本所內的長期試驗田所得的結果，土壤爲中質地微酸性砂頁岩沖積土，其中一期作水旱田輪作區水稻平均增產15%，二期作則增產18%。

連作亦有所謂旱田連作與水田連作之謂，在本省甘蔗連作，時常發生發芽率極差，生長不良而減產情形，並已從土壤化學及生物學方面加以研究。依台糖公司王世中博士等人之研究，可以浸水處理即可恢復，這是因爲浸水可以造成另一種微生物相，且能淋洗一些微生物代謝物質，減少對作物之毒害。菲律賓國際稻米研究所，曾對陸稻及其它旱作，經三年之連作試驗顯示，陸稻、綠豆、牛荳(cowpea)受影響最大，玉米較輕微，而高粱較不受影響，且輪作或休閒等措施亦獲得類似之結果。英國的Rothamsted試驗場中有名的Broadbalk肥料連作試驗，已有百餘年歷史，其中即設有每栽培小麥四年即予休閒一年的處理，結果顯示小麥產量每四年當中均以休閒後第一年爲最高，並依連作的年數顯著下降，而以第四年爲最低。產量起伏的原因，部份可歸因於休閒後地力氮素的增加。日本青森縣農業試驗場，亦有長期試驗比較連作與輪作的效果，結果亦顯示連作區之小麥、大豆、馬鈴薯、玉米等產量均較輪作者低，而其原因亦可部份歸因於連作後地力氮素減少。

一般認爲在浸水狀態下栽培的水稻是最能耐連作的作物。事實上，一般水田已在同一田區連作百年甚至數千年，然而未聞其因連作而有減產的現象。但日本或歐美等國之稻作年僅一作，每作收割後均有很長的休閒或輪作期間。而本省一年兩作水稻，第一期作之前常有較長期間之休閒或輪作，而第二期作則幾乎沒有，因此常有人懷疑第二期作水稻收量之低落，可能和稻田之連作（即插秧前無適當之休閒或輪作）有關。依農試所在彰化地區的田間試驗結果，均顯示經第一



圖一、輪作對水稻一期作產量的影響



圖二、輪作對水稻二期作產量的影響

期作期間浸水休閒之水田，在第二期作時水稻生育自始即較連作水田爲優，因而單位面積穗數及粒數增加，稻穀增產十五～廿%，盆栽試驗結果，亦得類似結果。但第一期作期間以旱田狀態下休閒之盆栽土壤，在第二期作時卻未見水稻生長較佳；據解釋，盆栽試驗由於較長時間的乾旱休閒(dry fallow)結果，其重新浸水後的土壤，氧化還原電位（Eh）始終保持很高，還原緩慢，以致磷之有效度低，影響水稻生育。高雄區農改場在美濃一地比較栽培制度對第二期作水稻收量之影響，亦顯示第一期全期間之休閒或旱作處理，均對第二期作水稻收量有增產效果。農試所曾分析水稻生長期間土壤中之銨態氮含量，植物體內全氮量以及其它要素含量，亦均無與連作區與休閒區之顯著差異，可見上述連作區水稻之所以較休閒區減產，並非因連作後地力氮素或土壤中其它營養要素減低所致。至於是否和前作稻根殘渣之未能在土壤中充分分解，而產生生長抑制物質有

表二、作物序列中前後作組合不當引起之植物相剋作用（摘自高氏，1986）

前作	後作	田間情況	原　　因
小麥	玉米	玉米植株矮小，根系短少，產量大減	前作小麥殘體覆蓋引起眞菌（青黴菌）代謝毒物生成，抑制玉米根系生長
大麥 牛筋草	煙草	植株矮小，品質變劣	前作殘體產生酚酸抑制菸草幼苗根系呼吸作用
花椰菜	萵苣	萵苣種子萌芽率大減,幼苗脆弱	前作殘體產生低分子醋酸、酚酸等抑制萵苣種子萌芽
小麥	大麥	大麥根系不良，減產	前作殘體在較潮濕土壤中產生大量醋酸抑制後作根系伸展
桃樹	無花果	後作幼苗根系生長停頓，果實小而品質差	桃樹根系被微生物分解產生氰化物及苯甲醛，抑制後作根系呼吸作用
枇杷	桃樹	桃樹根系生長受阻	前作根系分泌安息香酸，抑制桃樹根系生長
酸柑	蜜柑	蜜柑果實瘦小	前作酸柑地上部（葉子）殘體分解物產生未知名有機化合物，影響後作生育及產量

關？抑或與土壤中其它物理、化學性質有關？尚待研究。

二、輪作序列中前後作與植物毒質及相關因子之關係

雖然，作物殘體是土壤有機物之主要來源，這是指在正常環境下而言；但有時作物殘體在一定面積之土地上積聚過多，或在較不適宜環境下（低溫、多雨或排水不良等情況下），常會因分解不完全而產生許多有毒中間代謝產物，抑制自身或後作生育，此即所謂「植物毒質」（phytotoxic substances）問題。這些植物毒質大多來自作物殘體分解物，主要是低分子有機酸、酚酸、胺，及較複雜之類黃素及松烯類等有機化合物。有時這些作物殘體亦能刺激土壤中一些腐生微生物大量繁殖，產生微生物代謝毒質(microbial toxins)抑制作物生長。有關前後作組合不當而引起之植物毒質相剋作用在國內外的例子甚多，表二即列舉一些農藝及園藝作物前後作順序不當所引起之植物相剋作用實例。植物毒質問題之發生，除因前後作組合不當外，前後作種植時間之間隔太短，導致前作殘留物因碳：氮比高而引起所謂土壤之氮素固定化作用（nitrogen immobilization），呈短暫缺氮現象，這也是應當注意之處。

三、本省蔬菜專業區的肥料施用問題

以上所述主要就糧食作物下的耕作制度的結果，至於本省的蔬菜生產，不論是連作或輪作，大部分係以蔬菜專業區的型態生產，其間缺少水田作用，蔬菜專業區是以密集栽培下的集約耕作方式，常密集且大量施用肥料，其用量往往達到經濟施肥量的2-3倍，且常一次大量全面撒佈，因而導致土壤酸化及累積多量的肥料鹽，並使植體累積多量硝酸態氮，以及污染地下水源。大量施用氮素對增產效果不及植體硝酸態氮含量增加明顯，植體全氮含量增加亦有限。

硝酸鹽對人體有害，在體內會還原成亞硝酸鹽，亞硝酸鹽與二級胺形成亞硝酸胺，而導致實驗動物發生癌症。多數葉菜是喜好硝酸態氮的作物，當根部吸收量超過植物能夠還原同化的量時，則產生累積現象。硝酸態氮累積量的多寡依作物種類或品種而異，而同一品種累積量則又受環境因子，肥料管理，以及栽培方法所左右。土壤中高氮含量（大量施肥）是植體累積硝酸態氮的主要因子。美國國科會的報導指出，每人每天由食用食物而來的硝酸態氮量為72.6毫克，其中89.5%來自蔬菜類，6.1%來自水果，1.7%來自穀類，可見農作物提供了很多的硝酸鹽。另有類似報導指出為61mg/person/day，其中75%來自蔬菜。飲水中硝酸鹽的來源，因施肥而提供者佔了25%。美國環境保護署設定公共給水硝酸鹽的安全上限為45mg-NO_3^-/L(10mg-N/L)，歐洲國家大部分訂為50mg-NO_3^-/L，加拿大健康福利部亦訂為45mg/NO_3^-/L。地下水層愈淺，所含硝酸鹽愈高；在美國海岸區，有32%的水井硝酸態氮含量超過10mg-N/L。

綜上所述，吾人知合理化施肥及水田作用有其維持地力的重要性，地力的維持不但是永續性農業上的基本需求，亦是環境品質監測之依據，本省輪作制度的實施即需關注此方面的重要性。因此，為防止臺灣土壤之過度酸化及旱作連作或輪作引起之障礙，應儘可能採用包含水稻在內之輪作制度，多肥作物應避免氮肥之濫用；酸性過強土壤可適量施用石灰或爐渣，以利改良。

四、參考文獻

高銘木。1986。輪作系統中前後作順序對作物生育之影響。興農215:89-93.

高銘木、王世中、劉文徹、李松伍、薛鎮江。1983。三十年來台糖自營農場連作蔗田生產力低減之理論與改進。台灣糖業研究所研究彙報100:25-43.

Crookston,R.K. 1984.The rotation effect. Crop Soils 36:12-14.

Griffith,D.R., J.E.Kladivko, J.V Mannering, and S.D. West .1988. Long-term tillage and rotaion effects on corn growth and yield on high and low organic poorly drained soils. Agron.J.80,599-605

Karlen,D.L., E.C. Berry,T.S. Colvin, and .R.S.Kanwar.1991. Twelve-year tillage and crop rotation effects on yields and soil chemical properties in northeast Iowa. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 22, 1985-2003.

Karlen,D.L., G.E. Varvel, D.G. Bullock, and R.M. Cruse. 1994. Crop rotations for the 2lst century. Adv. Agron. 53:1-45.